

## LTCC 기술을 이용한 MEMS 소자 진공 패키징

전종인 · 최해정 · 김광성 · 이영범 · 김무영 · 임채임 · 황건탁 · 문제도 · 최원재\* · 김희수\* · 최용원\*

오리온PDP L-project team, \*대우전자 TMA 사업부

### Vacuum Packaging of MEMS (Microelectromechanical System) Devices using LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) Technology

J.I. Jeon, H.J. Choi, K.S. Kim, Y.B. Lee, M.Y. Kim, C.I. Im, K.T. Hwang, J.D. Mun, W.J. Choi\*, H.S. Kim\*, Y.W. Choi\*

L-Project team, Orion PDP Co. Ltd., \*TMA Division, Daewoo Electronics Co. Ltd.

**초 목 :** MEMS 소자는 현재의 전자산업환경에서 여러 요구조건을 만족시킬 수 있는 특징을 갖추고 있으며 이러한 MEMS 소자를 이용한 MEMS 구조물의 packaging 방법에 있어서는 내부 MEMS 소자의 동작을 위한 외부 환경으로부터의 보호를 위하여 Hermetic sealing에 대한 요구를 충분히 만족시켜야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 MEMS device의 진공 패키징을 구현함에 있어서 기판 내부에 수동소자를 실장할 수 있는 LTCC 기술<sup>1)</sup>을 이용하여 진공 패키징하는 방법에 대하여 소개한다. 본 기술을 이용하는 경우 기존의 Hermetic sealing 이외에 향후 적층 기판 내부에 수동소자를 내장시켜 배선 길이 및 노이즈 성분을 감소시켜 더욱 전기적 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있게된다. 본 논문에서는 LTCC 기판을 이용하여 패키징 시킨 후, 내부 진공도에 영향을 줄 수 있는 계면들에서의 시간에 따른 진공도 변화로부터 leakage rate를 측정(stacked via :  $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$  Torr/1sec, LTCC 기판/AgPd/solder/Cu의 여러 가지 계면구조:  $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$  Torr/1sec)하여 LTCC 기판의 Hermetic sealing 특성에 관하여 조사하였다. 실제 적용의 한 예로 LTCC 기술을 이용하여 Bolometer를 성공적으로 진공패키징할 수 있었으며 실제 관찰된 이미지를 함께 소개한다.

**Abstract :** In the current electronic technology atmosphere, MEMS (Microelectromechanical System) technology is regarded as one of promising device manufacturing technologies to realize market-demanding device properties. In the packaging of MEMS devices, the packaged structure must maintain hermeticity to protect the devices from a hostile atmosphere during their operations. For such MEMS device vacuum packaging, we introduce the LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) packaging technology, in which embedded passive components such as resistors, capacitors and inductors can be realized inside the package. The technology has also the advantages of the shortened length of inner and surface traces, reduced signal delay time due to the multilayer structure and cost reduction by more simplified packaging processes owing to the realization of embedded passives which in turn enhances the electrical performance and increases the reliability of the packages. In this paper, the leakage rate of the LTCC package having several interfaces was measured and the possibility of LTCC technology application to MEMS devices vacuum packaging was investigated and it was verified that improved hermetic sealing can be achieved for various model structures having different types of interfaces (leak rate: stacked via;  $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$  Torr/1sec, LTCC/AgPd/solder/Cu-tube;  $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$  Torr/1sec). In real application of the LTCC technology, the technology can be successfully applied to the vacuum packaging of the Infrared Sensor Array and the images of light-up lamp through the sensor array in LTCC package structure was presented.

**Keywords:** MEMS device, LTCC<sup>1)</sup>, hermetic sealing, vacuum packaging, bolometer, embedded passives

## 1. 서 론

현재의 정보화 시대에서 요구되는 전자기기의 특징인 소형화, 다기능화, 높은 정보처리 용량(Broad Bandwidth), 집적화들을 실현하기 위하여 반도체 제조공정에서 배선펍을 줄이는 연구 및 SOC (System On a Chip)이라는 기술에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 반도체 메모리 분야, 디지털 및 아날로그 신호처리 분야 뿐 아니라 여러 센서 및 Actuator 제작에 있어서도 보다 소형화되고 여러 기능을 수행하며 보다 집적화된 소자에 대한 제작 요구가 커지고 있으며 그 제작 방법에 있어서도 유체 센서, 온도 센서, 가스 센서 등 기존의 후막 공정을 이용한 센서 뿐 아니라 가속도 센서, 위치 센서등의 물리 센서, 여러 Actuator 및 디스플레이 소자중의 하나인 TMA (Thin-film Mirror Array), DMD™(Digital Micromirror Device)<sup>2)</sup> 등의 제작에 박막 기술 및 MEMS 기술들이 이용되어지고 있다. MEMS는 반도체 가공방법을 응용해 초소형 집적화된 기계구조를 가공하는 기술로서 수 마이크로미터 이하의 초소형 구조 형성이 가능하고 균일한 가공성과 우수한 양산성을 갖고 있는 21세기 최대유망기술중의 하나이다. 이러한 MEMS 소자들의 패키징은 기본적으로 Hermetic sealing이 이루어져야 하며 주로 메탈 패키징 방법이나 정전 접합 (Electrostatic Bonding) 방법들이 사용되어지고 있다. 메탈 패키지 제조를 위하여서는 절연 glass와 metal간의 hermetic sealing 기술이 가장 중요하게 요구되는데 glass와 metal이라는 서로 다른 특성의 재질을 갖는 재료를 고온에서 glass를 녹여 고기밀로 용착시키는 기술이기 때문에 물성이 서로 다른 재료간의 열팽창계수 조절, 전기로의 정밀한 온도조절, 전기로 내의 가스분위기 조절 등이 필수적으로 요구된다<sup>3)</sup>. 또한, 실제 메탈 패키징된 제품에 어셈블리하거나 핸들링시에 glass와 metal의 봉착부위에 굽힘응력(bending stress)이나 전단응력(shear stress)이 작용하여 micro-crack이 인가되고 이로 인해 두 재료간의 계면에서 leak source로 작용할 가능성이 높은 구조이다. 가속도 센서 등의 패키지에 사용되는 정전 접합의 경우<sup>4,5)</sup> 주로 실리콘 기판과 유리 사이의 접합 및 패키징에 이용되는 방법으로 어느 일정온도에서 전극의 양단에 전압을 인가하면 유리 내부

의  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  등의 성분중  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  등의 양이온이 음극 쪽에는 이동하게 되고 반대로 양극 쪽에는 상대적으로  $\text{O}^{2-}$  음이온이 공간 전하층(polarized region)을 형성하게 된다. 이렇게 형성된 음이온의 공간 전하층과 실리콘간에 강한 정전기력이 발생하고 계면에 Si와 O와의 강한 접합이 이루어지게 된다. 이때 잔류 응력을 최소화시키기 위하여 실리콘 기판과 열팽창이 비슷한 유리 기판을 사용하여 접합이 이루어지고 있으며 열팽창 계수가 다른 경우 이를 최소화시키는 시도도 연구되어지고 있다<sup>6)</sup>. MEMS 구조물 가운데 Gyroscope, Image sensor 등의 진공 패키징을 요구하는 소자의 패키징의 경우는 일반적으로 메탈 패키지 방법이 사용되고 있으나, 최근에는 패키징된 상태에서의 전기적 특성을 향상시키고 보다 그 크기를 작게 만들기 위한 노력이 진행 중에 있다. 이와 같은 시도의 하나로 본 연구팀에서는 LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic)을 이용한 기판 제작 및 패키징을 시도하였다. LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) 기술은 다층소성 글라스-세라믹 기판으로 소성시 적층 그린시트 내부에 R, L, C의 수동 소자<sup>7)</sup>를 내장시켜 동시에 소성시킴으로써 회로의 집적도를 더욱 높일 수 있으며 일반적으로 적용되어지고 있는 표면실장 수동소자에서 발생할 수 있는 외부회로와의 soldering을 통한 접속시 배선길이의 증가에 따른 전기적 특성의 저하와 solder point에서 야기되는 노이즈 발생 및 흡수의 효과 및 신뢰성의 문제들을 줄일 수 있는 특징을 가지고 있다.

그러나 이 LTCC 기판이 MEMS 소자의 진공 패키징 방법으로 사용되어지는 경우, 내부의 진공도 유지를 위하여 그 진공도에 영향을 주는 인자들에 관한 검토가 필요하다. 즉 기판으로 사용되는 글라스-세라믹 재료 자체의 out gassing rate의 특성 평가 뿐 아니라, 그 재료의 특성에 따른 배기 조건의 결정과 적층 기판을 이용하여 패키징할 경우에 존재하게 되는 여러 계면에서의 Leak path로서의 작용 가능성과 Leak 형성기구에 관한 검토 및 이에 대한 공정조건과 조성설계가 요구되어진다. 본 논문에서는 LTCC 적층 기판을 사용하는 경우 여러 계면에서의 leakage 발생 여부에 관한 가능성에 대하여 각각의 계면에 대한 시간에 따른 진공도 변화를 측정하여 LTCC 적층 기판의 진공 패키징

적용가능성에 대하여 알아보았고 실제 MEMS 소자를 이용하여 진공 패키징하여 응용가능성에 대하여서도 고찰하여 보았다.

**2. 실험방법**

LTCC의 제조는 원하는 조성과 두께의 그린시트(green sheet)를 테이프캐스팅(tape casting)법을 이용하여 제작한 후 펀칭작업을 거쳐 비아 및 캐비티를 형성시키고 비아 및 전극에 대한 인쇄공정을 거치게 된다. 이와 같이 인쇄가 모두 끝난 그린시트를 디자인된 회로에 맞추어 적층하는 라미네이션 공정을 행한 후 850°C에서 동시소성하여 제작하였다. 이러한 공정을 거쳐 제작된 LTCC 기판을 이용하여 시편을 제작하게 되는데 이에 대한 공정 흐름도는 Fig. 1과 같다.

LTCC 기판이 실제 MEMS system에 적용되어 vacuum packaging이 될 경우 via가 적용된 구조가 사용되어지며 이러한 경우 via와 LTCC 기판간의 계면에서 leak가 존재할 수 있으므로 이에 대한 leak 여부에 대한 정확한 확인을 위해 stacked via가 적용된 LTCC기판을 제작하였다. 이 기판 제작에 있어서는 먼저 배기 통로에 해당하는 부분을

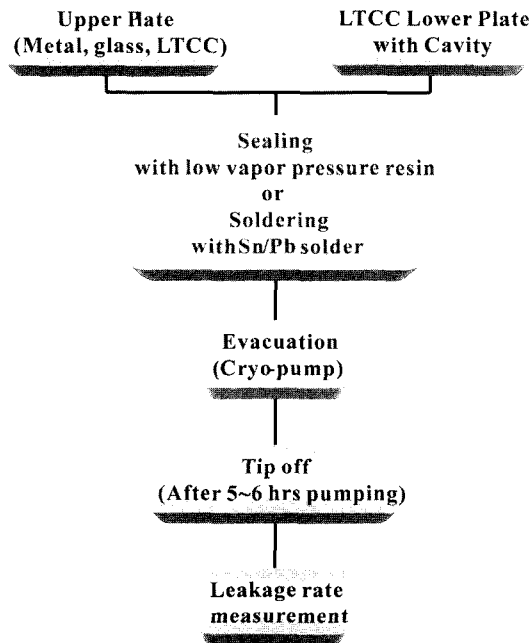


Fig. 1. Flow chart for sample fabrication.

cavity 구조로<sup>8)</sup> green sheet 상태에서 punching 한 후 각각의 green sheet를 적층 소성하여 제작하였고 그 위에 또 다른 LTCC기판을 상부기판으로 하여 두 기판을 outgassing rate가 낮은 resin 계열의 sealant (Torr seal™)을 사용하여 밀봉한 후 진공측 정용 게이지와 진공 배기관을 각각의 기판에 서로 마주보는 구조로 모두 Torr seal™을 사용하여 접합시켜 시편을 제작하였다. 이와 같은 구조에 대한 그림은 Fig. 2의 (a)에 나타내었다. 또한, LTCC 기판자체의 leakage rate와 진공 배기관과 LTCC 기판과의 연결부위의 계면에서 발생할 수 있는 leak 여부를 확인하고 leakage rate를 측정하기 위해 다음의 구조를 갖는 시편을 제작하였다. 하부기판의 경우는 cavity가 형성된 LTCC 적층기판을 사용하고 (via는 없음) 상부 기판으로 glass를 사용하여 Torr seal™을 이용하여 상하부기판을 접착시키고 진공측정용 게이지 역시 Torr seal™로 접합한 후 진공 배기관과 LTCC가 연결되는 부위에는 soldering을 하여 각각 장착하였다. 이에 대한 개요도는 Fig. 2의 (b)에 나타내었다.

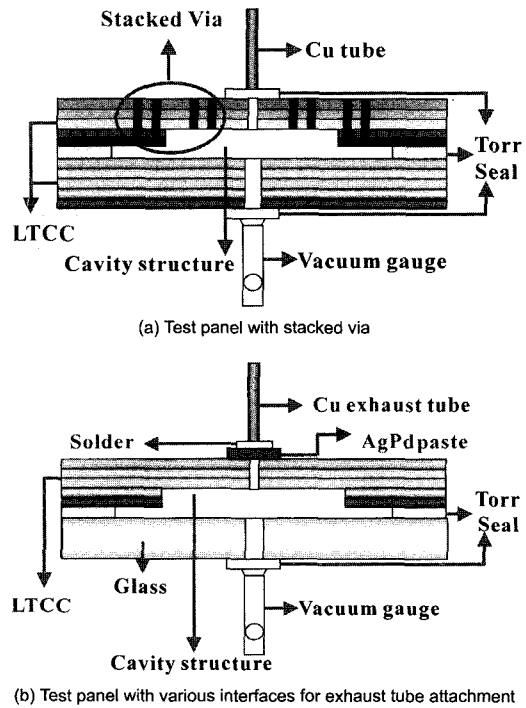


Fig. 2. Schematic diagram of LTCC structure for vacuum leakage test panels.

이렇게 제작된 시편을 진공 장비에 장착하여 5~6시간 정도 배기 시킨 후 pinch off<sup>10)</sup> 하고 시간에 따른 진공도 변화를 측정하게 되는데 본 실험에서 사용된 진공장비에 대한 개략도는 Fig. 3과 같다.

진공장비의 구조를 크게 구분하여 보면, 먼저 시편에 진공 상태를 만들어 줄 수 있는 펌프 2개가 연결되어 있으며 시편을 장비에 장착할 수 있는 챔버 그리고 챔버 내의 진공도를 나타내는 vacuum gauge가 있다. 2개의 펌프중 초기 진공 상태를 만들어 주기 위해서는 dry pump가 사용되며 고진공 상태를 위해서는 cryopump가 사용된다.

제작된 시편을 진공 장비에 장착한 후 일반적으로 먼저 dry pump를 이용하여 낮은 진공도의 상태로 만들어 준 후 Cryopump를 작동시킨다. 이때 시간에 따른 압력의 변화를 linear scale로 나타낸 Fig. 4의 초기 그림 부분과 같이 압력은 시간이 흐름에 따라 떨어지게 되는데 일정 시간이 지나게 되면 pumping speed에 따라 어느 일정 값을 갖은 후 pumping speed 및 재료의 outgassing rate와 system leakage rate에 따라 다른 거동을 보여준다. 이때 pump를 끄고 시간에 따른 진공도를 관찰하게 되는데 실제 leak가 존재하면 Fig. 4의 (1)과 같이 시간에 따라 진공도가 선형적으로 변할 것이며 leak가 전혀 없다면 재료의 outgassing이 일정부분 이루어진 후 (2)와 같이 계속해서 평형 값을 나타낼 것이다. 그러나 (3)과 같은 경우는 실제 leak와 재료 자체의 물성인 out-gassing이 함께 존재한 경우로 그래프에서와 같이 초기에는 outgassing 되는 양의 시간의 경과에 따른 감소에 따른 포물선 거동과 실제 leakage에 의한 선형적인 거동이 합한 거동을 보이다가 시간이 지남에 따라 leak 발생에 의한 진공도 변화가 지배적인 영역에 놓이게 되는 경우 다시 선형적으로 진공도의 상승을 보이게 된다.

Leakage rate 측정을 위한 진공도 측정은 진공 펌프와 연결된 상태에서의 내부 사이의 진공도를 다른 측정 위치에서 측정하여 측정할 수도 있으나 진공 pump의 용량이 큰 경우와(pumping speed가 높은 경우) 시편과 챔버 사이의 연결 부위에 미세 leak가 존재하는 경우, 실제 panel의 leak 여부의 판단이 어려운 경우가 발생하므로 본 실험에서는 실제 진공 배기를 실시한 후 배기관을 완전히 밀봉

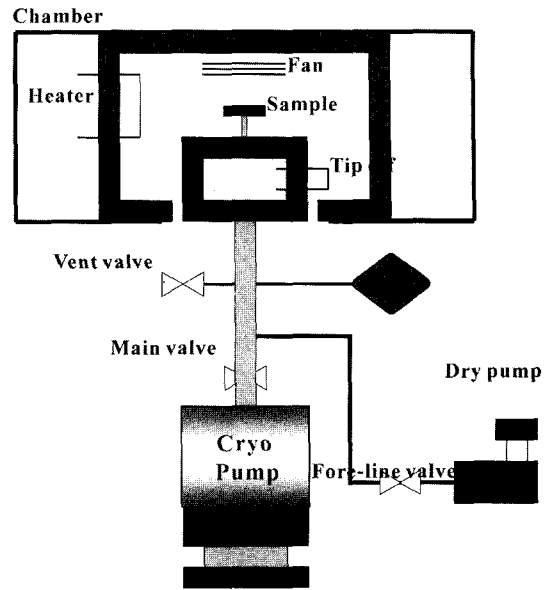


Fig. 3. Schematic diagram of test panel evacuation system.

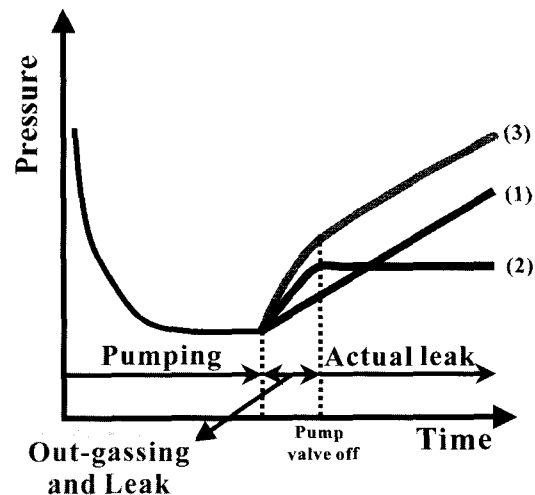


Fig. 4. Pressure vs. time during the exhaust and after valve off. Curve (1) only real leaks; curve (2) virtual leaks; curve (3) real and virtual leaks together<sup>9,10)</sup>.

하여 미리 부착된 진공 게이지를 통하여 시간에 따른 진공도 변화를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Stacked via가 있는 구조에 대한 leakage rate 측정 결과는 Fig. 5에 그래프로 나타내었다. 이 측정

값으로부터 계산된 leakage rate는  $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$  Torr/sec의 값으로 계산되었다.

Stacked via 배열은 via와 via 사이가 내부 전극 패턴을 통하여 연결되는 부분이 있는 경우에 비하여 더욱 쉽게 진공도 저하가 일어날 수 있는 구조를 취한 것이다. 즉, 진공 배기 시에 패키징 되는 부분의 내부와 외부 사이의 진공도 차이에 의하여 LTCC 기판 자체에 휨 응력이 작용하게 되고 이와 같은 휨응력은 via와 LTCC Glass-ceramic 기판 사이의 계면에 작용하게 된다. 이때 인가된 휨 응력에 의한 계면에서의 전단 응력에 의하여 계면이 stress를 받게되며 계면 강도가 약할 경우, 계면을 경계로 via 부분과 glass-ceramic 부분의 서로 다른 기계적 성질 등에 의하여 (Young's modulus, Fracture toughness) 계면을 통하여 미세 균열이 발생하고 이 미세 균열은 진공도 변화를 유발시키게 된다. Fig. 6의 경우는 일반 메탈 패키지의 경우에 발생하기 쉬운 leakage path 부분에 관하여 도식한 것이다. 이 구조의 경우는 packaging 작업중이나 실제 패키징 이후 동작시 금속 핀 부분에 걸리는 응력에 의하여 또는 금속 핀과 유리사이의 계면을 통하여 응력 구배 등에 의하여 균열이 발생하여 결국 진공도를 떨어뜨리는 결과를 가져올 수 있다. 이와 같은 메탈 패키지의 단점을 극복하기 위하여 LTCC substrate 내에서의 금속 핀의 역할을 내부 via가 담당함으로써 전기적인 연결을 만족시키게되며 금속핀을 바로 via 부분과 직접 기계적

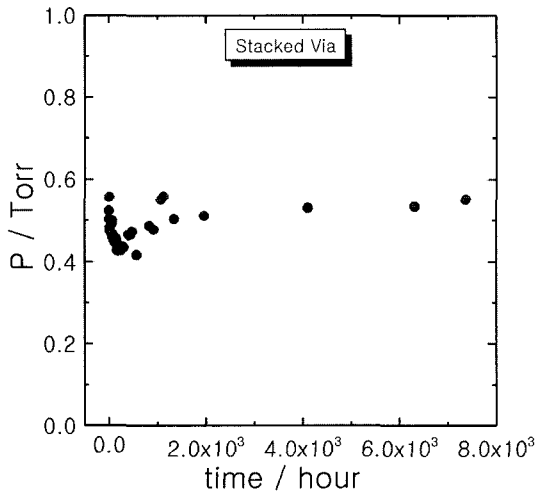


Fig. 5. Leakage rate for LTCC substrate with stacked vias.

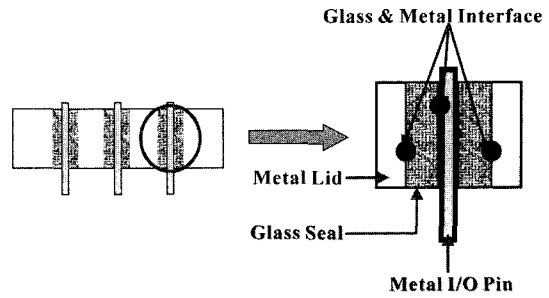


Fig. 6. Glass to metal seal is the weakest point in metal package.

으로 접촉하지 않는 구조를 취함으로써 응력 집중을 막고 응력을 분산함으로써 via와 glass ceramic 부분에서의 crack 발생 확률을 크게 낮출 수 있다. 즉 PGA (Pin Grid Array) type의 진공 패키징의 경우는 패키징되는 소자의 내 외부 압력차에 의한 진공 응력과 packaging 또는 실제 동작중에 pin에 기계적 bending에 의한 휨응력으로 나눌 수 있는데 전자의 진공응력에 의한 휨응력은 via의 조성 설계를 통하여 그 휨응력에 대한 항복강도 증가 및 via 부분에서의 재료의 toughness 증가가 가능하며 pin의 기계적 bending의 경우는 pin 과 via와의 구조 위치 설계에 따라 응력 분산이 가능하다.

따라서 via의 조성 설계에서는 이와 같은 진공 응력 변화를 견딜 수 있는 계면을 갖는 결합력이 우수한 조성을 선택해야하며 또한 LTCC 소성시 shrinkage matching이 되는 조성 설계가 필요하다. 만약 shrinkage matching이 이루어지지 않은 경우 via와 glass-ceramic 계면 사이에 void가 존재하며 이 void는 진공응력에 의하여 내부 crack으로 발전하며, 그 부분이 이러한 휨응력을 견디지 못할 경우 crack 전파에 의하여 진공도의 저하가 일어날 수 있다.

구조적으로는 최종 금속 핀의 위치를 조절함으로써 via 부분에 걸리는 응력 부분을 최소화시킬 수 있다. 즉 금속핀 고정용 cavity 구조를 LTCC 바깥부분에 제작한 후 AgPd로 금속 핀과 via 부분을 다시 연결하여 줌으로써 packaging 된 구조물이 일반의 금속 패키지 형태와 같은 금속 핀과 glass 부분이 직접 만나서 생기는 계면이(Fig. 6) 존재하지 않게 제작함으로써 제작 공정이나 실제 동작 중 crack이 발생할 확률이 상당히 낮아지게 되어 leakage path가 줄어든 구조의 진공 패키지를 만들 수

있게 된다.

배기관이 soldering에 의해 연결되는 구조의 경우는 LTCC 기판과 Ag/Pd 전극층, Ag/Pd 전극층과 solder, solder와 Cu tube의 3개의 계면이 존재한다. LTCC와 AgPd 전극 사이의 구조는 AgPd 내부의 frit glass와 LTCC 기판의 glass-ceramic 간의 결합력이 중요한 요소로서 작용하게 된다<sup>11)</sup>. 특히 AgPd paste의 소성중의 산화환원 반응 중의 산소 발생에 의한 adhesion 감소나, paste 중의 binder burn-out 문제 등에 의하여 AgPd 표면 상태의 표면 거칠기가 크게 저하되는 경우, 진공 패키징 측면에서 부정적으로 작용하게 된다. AgPd와 solder 사이의 계면의 경우는 solder 부분에서의 solder leaching에 의하여 AgPd와 solder 계면이 취약해질 수 있다. 즉 soldering 조건에 따라 solder가 완전히 AgPd 전극을 wetting하지 못하거나 solder leaching 이 soldering 사이에 발생하는 경우 그 부분의 기계적 강도가 취약해지면서 진공도 저하를 유발시킬 수 있다. Fig. 7에 본 실험에서 측정된 시간에 따른 진공도 변화를 나타내었다. 이 실험에서 측정된 leakage rate는  $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$  Torr/sec 이다.

본 실험에서 측정된 바와 같이 stacked via를 갖는 경우나 Cu tube의 배기관 구조를 갖는 경우 모두 우수한 leakage rate를 나타내었다. 즉 본 팀에서 제조된 via 및 AgPd paste의 조성이 shrinkage matching 특성 뿐 아니라 vacuum hermetic sealing의 특성을 갖는 조성이며 다른 package 처리인 soldering 처리와 적합한 조성으로 실제 vacuum pack-

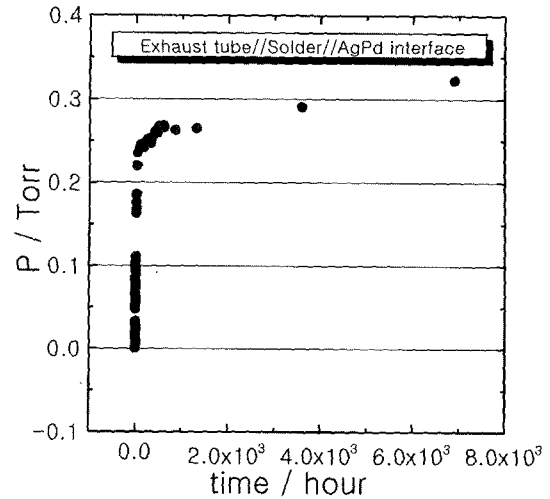


Fig. 7. Vacuum change with time of LTCC substrate.

aging이 가능하였다. 본 실험에서는 고온 배기를 실시하지 않고 상온 배기를 실시한 후 시간에 따른 진공도 변화를 측정 한 것으로 초기 진공도의 상승은 내부에 완전히 제거되지 않은 불순물에 의한 진공도 상승으로 사료된다. 실험 결과를 토대로 하여 시편 내부의 진공압이 1 torr 증가하는데 걸리는 시간을 계산해 본 결과 stacked via를 갖는 구조의 경우 약 9년의 시간이 소요되며 Cu tube 배기관이 soldering에 의해 접합된 구조는 1 torr 증가하는데 약 11년의 시간이 필요함을 계산을 통해 알 수 있었으며 이는 매우 낮은 leakage rate를 갖는 것으로 판단할 수 있다. 진공도 유지 측면에서 경우에 따라서 진공도 유지를 위하여 내부에 get-

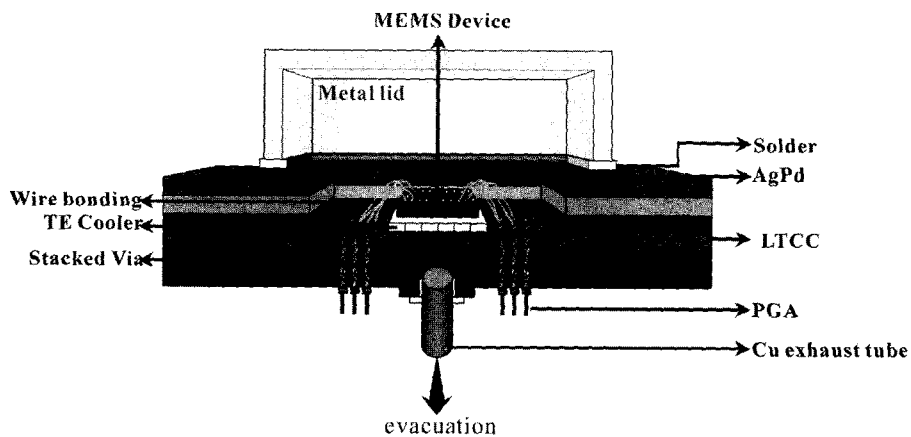


Fig. 8. Bolometer package structure using LTCC technology.

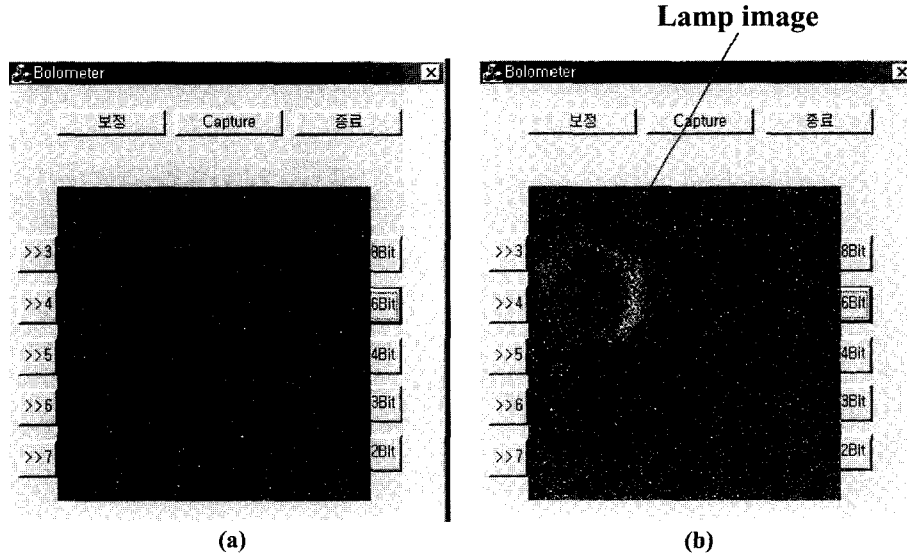


Fig. 9. Images observed through a bolometer. (a) before lamp-on, (b) after lamp-on.

ter를 설치하여 활성화시킴으로써 진공도를 증가시키거나 고온 배기를 시행하게 되면 재료의 표면에 남아 있는 이물질 및 기체를 쉽게 분리시킬 수 있기 때문에 고 진공도 상태로 유지시킬 수 있다.

앞에서 측정된 구조에서 확인된 실험 결과를 토대로 하여 실제 MEMS 기술로 제작되며 적외선 카메라 시스템에 적용되는 적외선 영상 시스템인 적외선 어레이 센서를 진공 패키징하여 응용가능성에 대하여 알아보았다. 즉, 볼로미터 적외선 센서의 주요 특성 중의 하나인 열전도도 (Thermal Conductance: G)는 센서가 흡수한 열이 센서 외부로 빠져나가는 정도를 나타내는 파라미터로, 실제 측정할 경우 Bolometer 다리부의 열전도도는 대기압 상태에서의  $1.7 \times 10^{-5} \text{W/K}$ 인 반면에 수 mTorr 이하의 고진공에서는  $5.0 \times 10^{-7} \text{W/K}$ 이하로 측정되었고 이는 고진공에서 쉽게 열이 빠져나갈 수 없는 실험 결과를 보여준다<sup>12)</sup>. 즉, 고진공을 유지할 경우 적외선 이미지에 대한 감도가 매우 좋아지므로 Bolometer를 실제 이용하기 위해서는 진공 패키징이 필수라 하겠다. 또한 진공 패키징함으로써 정전기나 충격 등의 외부 환경에 의한 영향을 차단시킬 수 있어 센서의 수명을 향상시키는 역할도 할 수 있다. 본 실험에서 사용된 LTCC를 이용한 볼로미터 어레이 진공 패키지 구조를 Fig. 8에 나타내었다.

이번 실험에서는 고온배기 공정을 거치지 않고

상온배기 실험을 실시하였으므로 초기의 진공도 증가는 내부에 제거되지 않은 불순물에 의한 진공도 증가로서 초기 진공도가  $10^{-3} \text{Torr}$  범위의 진공도를 보여주지는 못하였지만 그 leakage rate의 측정 결과에서 보듯이 시간에 따라 매우 낮은 진공도 변화를 보여주고 있다. 즉 초기 진공도를 형성시켜주는 것은 package되어지는 소자의 불순물의 양과 구조적으로 배기 conductance가 낮은 부분의 존재와 이러한 부분에서 배기 속도의 감소 등에 의하여 결정되어지므로 이 부분은 향후 고온 배기, Getter 사용 등의 공정을 통하여 더욱 그 진공도를 높일 수 있다.

실제 LTCC 진공 패키징을 한 후 적외선 램프를 피사체로 한 적외선 영상 이미지는 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 (a)의 경우 피사체가 없을 때의 화면을 나타내고 (b)의 경우는 적외선 램프를 일정거리에 위치시켰을 때 실제 램프 이미지가 나타남을 확인할 수 있었고 이로써 LTCC 기술의 MEMS 소자 진공 패키징에의 적용가능함을 확인하였다.

#### 4. 결 론

LTCC 구조를 이용하여 여러 leak path에 대한 고찰을 통해 vacuum packaging의 hermetic sealing이 가능함을 확인하였으며, 측정된 leakage rate는

stacked via를 갖는 구조의 경우  $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$  Torr/sec의 값을 LTCC 기판/AgPd/solder/Cu의 여러 가지 계면을 갖는 구조의 경우  $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$  Torr/sec의 값을 나타내면서 우수한 진공도 유지 특성을 나타내었다. 또한 진공도가 특성에 매우 큰 영향을 미치는 MEMS 소자인 적외선 이미지센서(Bolometer)를 LTCC 기술을 적용하여 진공 패키징하여 적외선 이미지를 확인함으로써 향후 이와 같이 LTCC 구조를 이용하여 내부에 수동소자를 실장하고 이에 따른 전기적 특성의 향상과 더불어 vacuum package가 요구되어지는 구조물의 vacuum package 응용이 가능함을 확인하였다.

### References

1. S.D. Park, H.G. Kang, Y.H. Park, J.D. Mun, "LTCC and LTCC-M Technologies for Multichip Module", J. Microelectronics & Packaging Soc., 6(3), 25 (1999).
2. SRI Annual report (1998).
3. A.K. Varshneya, "Stress in Glass-to-Metal Seals", in Treatise on Materials and Technology, vol 22. Academic Press, Inc., (1982).
4. D.I. Pomerantz, U.S. Patent 3, 278,397 (1968).
5. G. Wallis and D.I. Pomerantz, J.Appl. Phys., 40, 3946 (1969).
6. 문제도, 최영환, 오재열, 조영래, 정효수, "잔류응력 완화용 중간 박막을 이용한 유리와 실리콘 정전 접합", 대한금속학회지, 35, 740 (1997).
7. R.C. Frye, "Passive components in electronic applications: requirements and prospects for integration", Microcircuit & Electronic Packaging., 19, 483 (1996).
8. E.G. Palmer and C. Michael Newton, "3-D Packaging Using Low-Temperature Cofired Ceramic (LTCC), The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging., 16(4), 279 (1993).
9. A. Roth, "Vacuum technology", 1st ED., North-Holland Publishing Company (1976).
10. A. Roth, "Vacuum Sealing Technique", American Institute of Physics Press (1994).
11. R.R. Tummala, "Ceramic and Glass-Ceramic Packaging in the 1990s", J. Am. Ceram. Soc., 74(5), 895 (1991).
12. 대우전자 TMA 사업부, "적외선 이미지센서 어레이의 개발", 선도기술개발사업 최종보고서(산업자원부, 과학기술부), 2002.